

В.Ф. Мануйлов, доц.

Кіровоградський національний технічний університет

Режимы заземления нейтралей электрических сетей напряжением 110 кВ и выше

Работа электрических систем напряжением 110 – 150 кВ может предусматриваться как с глухозаземлённой, так и с эффективно заземлённой нейтралью.

Электрические сети напряжением 220 кВ и выше должны работать только с глухозаземлённой нейтралью.

Глухим заземлением называют такой способ заземления, при котором нейтраль обмотки трансформатора присоединена к заземляющему устройству металлически или через малое сопротивление (например, через трансформаторы тока).

Эффективным заземлением нейтрали – называют такую сеть, в которой нейтрали большей части силовых элементов (трансформаторов, генераторов) заземлены. В данном режиме повышение напряжения по отношению к земле на неповреждённых фазах при однофазных замыканиях на землю в установившемся режиме не превышает 0,8 линейного напряжения и коэффициент замыкания на землю не превышает 1,4.

Коэффициентом замыкания на землю в трёхфазной электрической сети называется отношение разности потенциалов между неповреждённой фазой и землёй в точке замыкания на землю другой или двух других фаз к разности потенциалов между фазой и землёй в этой точке до замыкания.

Например, для сети 154 кВ:

$$K_3 = 0,8 \cdot U_{\text{лин}} / U_{\text{фаз.}} = 0,8 \cdot 154 / 89 = 123,2 / 89 = 1,384 < 1,4.$$

Эффективное или глухое заземление нейтрали применяется во всех электроустановках напряжением 110 кВ и выше, и это объясняется большими технико-экономическими преимуществами такого способа именно для установок высокого напряжения. Внутренние перенапряжения в таких установках ниже, чем перенапряжения в сетях с изолированной нейтралью (не превышают $2,5 U_n$) и поэтому стоимость изоляции линий и аппаратов получается значительно ниже, чем при изолированной нейтрали.

Другим преимуществом эффективного заземления нейтрали является возможность обеспечить чёткую быстродействующую защиту однофазных К.З., которые составляют до 80% всех видов повреждений. Кроме этого в этих сетях более эффективно применение автоматического повторного включения (АПВ).

Количество заземленных нейтралей на станции (подстанции) определяется необходимым значением тока, однофазного К.З., который не должен быть меньше 60% тока трехфазного К.З. в той же точке ($X_0 \leq 3X_1$), чтобы повышение напряжения при этом на неповрежденных фазах не превышало $0,8 U_{\text{лин}}$. междуфазного напряжения в нормальном режиме работы. Такое значение тока может быть обеспечено при заземлении большей части нейтралей трансформаторов станции (подстанции), число которых должно быть определено специальным расчётом.

При этих расчётах необходимо учитывать обязательность заземления нейтралей автотрансформаторов, трансформаторов 220 кВ, и тяговых трансформаторов установленных на электрических станциях и подстанциях.

Чем больше число заземлённых нейтралей, тем меньше величина внутренних перенапряжений. Поэтому в сетях напряжением 220 кВ и выше применяют глухое заземление всех трансформаторов и автотрансформаторов, а в электропередачах 500-750 кВ, кроме того, в ряде случаев прибегают к дополнительному ограничению внутренних перенапряжений техническими средствами.

Заземление нейтралей всех без исключения трансформаторов подстанции не практикуется, так как при этом увеличиваются токи однофазных К.З. на землю, чего следует избегать в тех случаях, когда это возможно, как, например, в сетях напряжением 110 – 150 кВ. Кроме того, при наличии большого количества подстанций, присоединённых к линиям электропередачи глухими ответвлениями, количество заземлённых нейтралей трансформаторов в сети ограничивается также условиями релейной защиты. Поэтому в сетях 110 – 150 кВ заземляют только такое количество нейтралей, которое обеспечивает упомянутую выше эффективность заземления и допустимое напряжение на нейтрали незаземлённых трансформаторов с РПН при однофазных коротких замыканиях.

Однако рассматриваемый режим нейтрали имеет и ряд недостатков. Так, при замыкании одной фазы на землю образуется короткозамкнутый контур через землю и нейтраль источника с малым сопротивлением, к которому приложена Э.Д.С фазы (рис. 1).

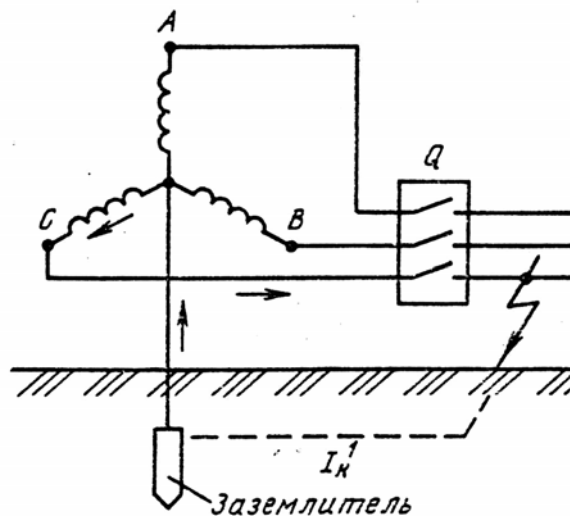


Рисунок 1 – Трехфазная сеть с эффективнозаземленной нейтралью

Возникает режим К.З. сопровождающийся протеканием больших токов. Во избежание повреждения оборудования длительное протекание больших токов недопустимо, поэтому К.З. быстро отключается релейной защитой. Правда, значительная часть однофазных повреждений в электрических сетях напряжением 110 кВ и выше относятся к самоустраняющимся, т.е. исчезающим после снятия напряжения. В таких случаях эффективны устройства автоматического повторного, включения (АПВ), которые, действуя после работы устройств релейной защиты, восстанавливают питание потребителей за минимальное время.

Второй недостаток - значительное удорожание выполняемого в распределительных устройствах контура заземления, который должен отвести на

землю большие токи К.З. и поэтому представляет собой в данном случае сложное инженерное сооружение.

Для такого контура ПУЭ допускает максимальную величину сопротивления заземляющего контура – 0,5 Ом, т.е., в 20 раз меньше, чем для систем с малыми токами замыкания на землю, к которым относятся сети 6-10-35 кВ.

Отсюда следует, что число электродов в данном случае должно быть весьма большими и, действительно, в зависимости от свойств грунта составляет от 75 до 200 электродов.

Несмотря на малое сопротивление заземляющего контура, падение напряжения на заземлителе при коротких замыканиях будет велико даже при сопротивлении 0,5 Ом. Например, при $I_3 = 3000 \text{ А}$, $U_3 = 0,5 \cdot 3000 = 1500 \text{ В}$. При таких условиях безопасность обслуживания может быть обеспечена быстрым автоматическим отключением повреждённой электроустановки, а также уменьшением напряжения прикосновения и шага, применением изолирующей обуви, перчаток, подставок и т. п.

Третий недостаток – значительный, ток однофазного К.З., который при большом количестве заземленных нейтралей трансформаторов, а также в сетях с автотрансформаторами может превышать токи трехфазного К.З. Для уменьшения токов однофазного К.З. применяют, если это возможно и эффективно, частичное разземление нейтралей в сетях 110–150 кВ. Возможно применение токоограничивающих сопротивлений, включаемых в нейтрали трансформаторов.

В сетях 110–220 кВ с эффективно заземленной нейтралью со значением отношения $x_0/x_1 = 2-3$ при $r_0/r_1 \leq 1$ трёхфазное К.З. приводит к появлению наибольших токов, а поэтому является наиболее опасным видом аварии. Однако вероятность такого повреждения сравнительно невелика и тем меньше, чем выше напряжение.

Так как благодаря широкому применению автотрансформаторов отношение x_0/x_1 в мощных энергосистемах достигает значений 0,5 – 1,5, то уже в настоящее время нередки случаи, в особенности в сетях сверхвысоких напряжений, когда наиболее частый вид однофазных повреждений одновременно является наиболее тяжёлым, по которому нужно, в частности, производить выбор выключателей и другой аппаратуры, ошиновки, а также определять электродинамическую стойкость отдельных обмоток автотрансформаторов.

Необходимо также отметить, что вследствие того, что автотрансформаторы имеют малые значения напряжения К.З. между сторонами ВН→СН, токи однофазного К.З. в современных энергосистемах при глухом заземлении нейтралей резко возрастают также на стороне среднего напряжения, что приводит к увеличению предельных токов отключения выключателей в этих сетях. Это обстоятельство необходимо тщательно анализировать в конкретных случаях, а результаты учитывать при выборе типа и параметров выключателей.

В соответствии со сказанным следует отметить, что токи однофазного К.З. в перспективе будут расти быстрее, чем токи трёхфазного К.З. В то же время ограничение токов однофазного К.З. труднее, чем трёхфазного.

В связи с этим высказываются различные предложения. В частности, было предложено отказаться от заземления нейтралей всех блочных повышающих трансформаторов; применять в отдельных случаях кроме ограничительных межсистемных связей трансформаторы с электрически не связанными обмотками вместо автотрансформаторов.

Известно, что токи трёхфазного и однофазного К.З. соответственно равны:

$$\dot{I}^{(3)} = E / X_1;$$

$$\dot{I}^{(1)} = 3E / (2x_1 + x_0) \quad \text{при } X_1 = X_2,$$

где X_1 , X_2 , X_0 – реактивные сопротивления прямой, обратной и нулевой последовательностей.

Отсюда

следовательно, если $X_0 \leq X_1$, $\dot{I}^{(3)} / \dot{I}^{(1)} = (2X_1 + X_0) / 3X_1$,
 $\dot{I}^{(3)} \leq \dot{I}^{(1)}$.

Так как в современных энергосистемах благодаря применению автотрансформаторов с обязательным глухим заземлением нейтралей, как правило, $X_0 < X_1$, то $\dot{I}^{(1)} > \dot{I}^{(3)}$, что подтверждается рядом конкретных расчётов в энергосистемах. Так, в сети 400 кВ Англии $\dot{I}^{(1)} / \dot{I}^{(3)} = 1,2$; в некоторых пунктах системы Центральной Сибири $\dot{I}^{(1)} / \dot{I}^{(3)}$ изменяется от 1,05 в сети 500 кВ до 1,28 в сети 220 кВ.

Увеличение токов однофазного К.З. в современных сетях обусловлено общим уменьшением полного сопротивления нулевой последовательности, вызванным помимо обязательного глухого заземления нейтрали автотрансформаторов и непосредственной электрической связи сетей ВН и СН также наличием третичной обмотки. Необходимость последней в настоящее время широко дискутируется в ряде стран. Известно, что третичная обмотка автотрансформатора служит для образования цепи с малым полным сопротивлением для прохождения тока третьей гармоники в намагничивающем токе и исключения искажения синусоидального напряжения за счёт появления третьей и кратной ей гармоник в фазном напряжении и третьей гармоники тока в линиях электропередачи. Одновременно она используется для подключения синхронного компенсатора или блока шунтовых реакторов, для питания собственных нужд подстанции и других целей. Однако благодаря повсеместному резкому увеличению токов однофазного К.З. и их частой вероятности возникновения, естественно, снова подвергается сомнению необходимость во всех случаях третичной обмотки.

Следует подчеркнуть, что для образования пути прохождения токов третьей гармоники третичная обмотка может быть принципиально малой мощности, определяемой только её термической стойкостью (5 – 15% мощности главной обмотки). Однако для обеспечения электродинамической стойкости мощность третичной обмотки ранее принималась равной не менее 33,5% мощности главной обмотки.

Примеры расчётов для автотрансформатора 300 МВА, 200/132 кВ и 1200 МВА, 400/275 кВ показали, что отказ от третичной обмотки существенно снижает значение несимметричных токов К.З. Таким образом, при возможности отказа от третичной обмотки такие автотрансформаторы могут быть использованы для ограничения однофазных токов К.З. в системе. При отказе от третичных обмоток обязательно глухое заземление нейтралей обмоток ВН и СН. Следует также иметь в виду, что при отсутствии третичной обмотки через нейтраль автотрансформатора и присоединённые к нему линии будут проходить токи третьей гармоники к ближайшему источнику с заземлённой нейтралью или к ближайшему автотрансформатору с третичной обмоткой, оказывая влияние на проходящие вблизи линии связи. Как указано выше, с точки зрения питания потребителей на низшем напряжении необходимость обмотки невелика, однако при отказе от неё подстанция лишается источника для питания собственных нужд, синхронного компенсатора и третичного блока шунтирующих реакторов.

Поэтому в настоящее время вопрос об отказе от третичной обмотки в каждом случае решается индивидуально. В этом случае снижаются токи однофазного К.З., а также внутренние перенапряжения в режиме включения автотрансформатора вместе с линией со стороны общей обмотки, что отмечалось в сети 500 кВ системы.

В настоящее время в сетях имеет место работа автотрансформаторов, как с третичной обмоткой, так и без неё.

Таким образом, в современных энергосистемах возможным путём для уменьшения токов однофазного К.З. является увеличение полного сопротивления нулевой последовательности за счёт:

- отказа от третичной обмотки;
- частичного разземления нейтралей;
- введения дополнительного реактивного сопротивления в цепь нулевой последовательности.

Под системой с эффективно заземлённой нейтралью принято считать систему, в которой $X_0 / X_1 \leq 3$ и $r_0 / r_1 \leq 1$ для всех конфигураций сети, где r_0 – активное сопротивление нулевой последовательности.

В системах, где нейтрали всех трансформаторов заземлены наглухо, $x_0 / x_1 \leq 1$. В большинстве систем с целью ограничения токов однофазного К.З. часть нейтралей разземляется; в этом случае за счёт влияния реактивного сопротивления линий $x_0 / x_1 > 1$. На подстанциях сетей напряжением 110–150 кВ в соответствии с требованиями пп 3.2.28, 3.2.63 ПУЭ для исключения повреждений трансформаторов и вентильных разрядников из-за перенапряжений при неполнофазных режимах, а также снижения токов однофазного короткого замыкания и обеспечения надежной работы релейной защиты режим работы нейтралей силовых трансформаторов в сети 110–150 кВ устанавливается следующий:

1. Должны иметь глухое заземления нейтралей:

1.1. Трансформаторы 110–150 кВ с устройствами регулирования напряжения под нагрузкой (РПН) с уровнем изоляции нейтрали 35 кВ (испытательное напряжение нейтрали частоты 50 Гц равно 85 кВ).

1.2. Трансформаторы, имеющие генерирующие источники питания со стороны низкого или среднего напряжения, независимо от класса изоляции нейтрали. Допускается часть нейтралей таких трансформаторов не заземлять, если в ремонтных или в аварийных режимах невозможно их выделение на работы с участком сети, не имеющим трансформаторов с заземлёнными нейтральями, или обеспечивается при замыканиях на землю отключение трансформаторов с изолированной нейтралью до отключения трансформаторов с заземленной нейтралью.

При этом, нейтрали, имеющие неполную изоляцию, должны быть защищены соответствующими разрядниками.

2. При подключении к транзитной линии или линии с радиальным питанием трансформаторов с уровнем изоляции нейтрали в соответствии с ГОСТ 1516.1–76 (испытательное напряжение нейтрали частоты 50 Гц 100 и 130 кВ трансформаторов 110–50 кВ соответственно) необходимо производить:

2.1. При одном трансформаторе на данной ВЛ – глухое заземление его нейтрали.

2.2. При двух и более трансформаторах на данной ВЛ – глухое заземление нейтрали двух трансформаторов.

Работа других трансформаторов допускается с изолированной нейтралью при защите её соответствующим разрядником.

3. При подключении к транзитной линии или линии с радиальным питанием только трансформаторов с полным классом изоляции нейтрали необходимо производить глухое заземление нейтрали одного трансформатора.

4. При подключении одного или несколько трансформаторов с уровнем изоляции нейтрали в соответствии с ГОСТ 1516.1–76 к шинам подстанций, имеющих питание от двух и более источников, необходимо глухое заземление нейтрали одного трансформатора из числа подключенных к данной системе шин или секции, работа других трансформаторов этой системы шин или секций допускается с изолированной нейтралью при её защите соответствующим разрядником.

5. Защита нейтрали обмотки 110 и 150 кВ трансформаторов с уровнем изоляции по ГОСТ 1516.1–76 должна осуществляться вентильным разрядником: РВС – 35 + РВС15 или РВМ – 35 + РВМ15 для трансформаторов 110 кВ и РВС 60 (2РВС20 + РВС–15) или 2РВМ35 (четыре элемента) для трансформаторов 150 кВ.

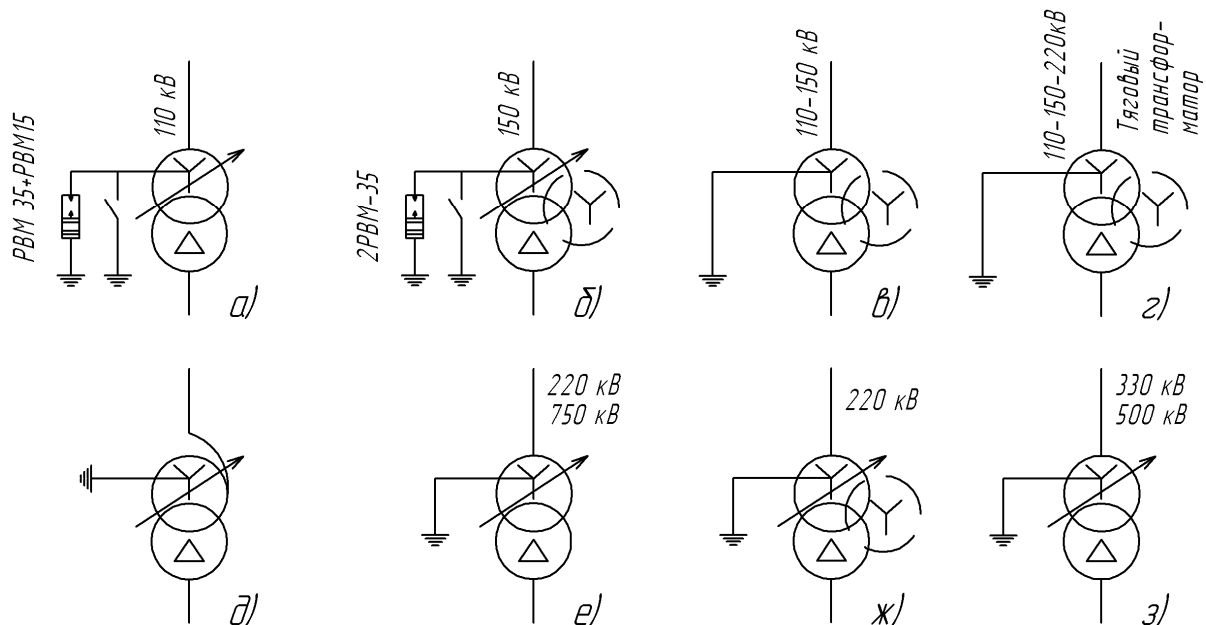
6. При отключении в ремонт трансформатора с глухозаземленной нейтралью **должна** заземляться нейтраль на другом трансформаторе, подключённом к данной линии или системе шин. При этом количество трансформаторов с глухозаземлённой нейтралью должно соответствовать требованию пунктов 2, 3, 4.

7. При производстве операций по включению и отключению трансформатора, имеющего неполную изоляцию нейтрали, необходимо, на время операции его нейтраль заземлять.

8. Все вновь вводимые силовые трансформаторы с уровнем изоляции нейтрали в соответствии с ГОСТ 1516.1–76 должны предусматривать работу, как с изолированной, так и заземленной нейтралью, для чего в его нейтрали должны быть смонтированы ЗОН – 110 и разрядник в соответствии с П.5.

Запрещается разземление нейтрали трансформаторов 110 кВ и выше и установка в цепи её заземления коммутационных аппаратов и вентильных разрядников, если изоляция нейтрали рассчитана на работу при глухом заземлении (тяговые трансформаторы и автотрансформаторы).

Вентильные разрядники для защиты нейтралей рекомендуется устанавливать непосредственно у трансформаторов.



а) у трансформаторов 110 кВ (испытательное напряжение нейтрали 100 кВ) с РП; б) у трансформаторов 150 кВ (испытательное напряжение нейтрали 130 кВ) с РПН; в) и трансформаторов 110-150 кВ (с испытательным напряжением нейтрали 85 кВ) с РПН; г) у тяговых трансформаторов 110 – 150 – 220 кВ; д) у автотрансформаторов; е) у трансформаторов 220 ÷ 750 кВ. без РПН; ж) у трансформаторов 220 кВ. с РПН; з) у трансформаторов 330 -500 кВ. с РПН

Рисунок 2 – Способы заземления нейтралей трансформаторов и автотрансформаторов

Список литературы

1. Правила устройства электроустановок. М.: 2003.
2. Л.Д.Рожкова, В.С.Козулин. Электрооборудование станций и подстанций. М.: 1987.
3. Режимы нейтрали в электрических системах.- К.: Наукова думка, 1974.
4. Решение по выбору режима работы нейтралей силовых трансформаторов в сети 110 – 150 кВ ПЭО «Днепроэнерго», утвержденное 05.11.86г.
5. Третьичная обмотка автотрансформаторов. «Электрические машины и аппараты». М.: Энергия, 1965.
6. Г.С.Лисовский, М.Э. Хейвиц «Главные схемы и электротехническое оборудование подстанций 35 – 750 кВ.» М.: Энергия, 1977.

Одержано 19.10.09

УДК 551.594.253:537.241

С. В. Лопатенко, доц., канд. физ.-мат. наук

Кировоградский национальный технический университет

Электризация жидкости при дроблении

Изучается процесс зарядки капель при дроблении жидкости в отсутствие внешнего электрического поля. Используется метод распада струи на монодисперсные капли. Из экспериментальных данных сделаны выводы о том, что в исследованном случае механизм зарядки капель аналогичен механизму зарядки при наличии внешних электрических полей.

жидкость, капля, дробление, зарядка, поверхностный потенциал, электрическое поле

Интенсификация процессов межфазного тепло- и массообмена в дисперсных средах всегда актуальная задача. Обнадёживающие результаты дают подходы с использованием заряженных частиц. Заряд частиц оказывает существенное влияние на скорость массообменных процессов в дисперсных системах [1, 2]. В связи с этим, помимо вопросов об оценке роли электрических зарядов частиц в различных процессах, весьма существенной становится задача выяснения факторов, определяющих появление электрического заряда на частицах. Естественно, что факторы, определяющие появление заряда на частицах, должны быть тесно связаны с условиями образования самих частиц. Исследованию природы естественной зарядки капель при различных способах дробления жидкостей было посвящено ряд работ. Однако механизм зарядки капель при дроблении жидкости и факторы, определяющие величину заряда в отсутствие внешнего электрического поля, до сих пор слабо изучены.

Для моделирования гидродинамических и электрических процессов, происходящих при частичном слиянии капель, и воспроизведения процесса моделирования в течение достаточно длительного времени использовали дробление струи на монодисперсные капли. Возможность такого моделирования можно обосновать, введя критерии подобия. Параметрами процесса образования и зарядки капель являются:

σ – поверхностное натяжение раствора, $\text{кг}\cdot\text{с}^{-2}$;

η – динамическая вязкость раствора, $\text{кг}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{с}^{-1}$;